

交流电机共同问题

交流电机分为两大类：同步电机和异步电机

共同之处：定子铁芯和定子绕组


（定子中发生的**电磁过程及机电能量转换**的机理和条件相同。）

不同之处：转子结构和转子绕组


（工作原理，励磁方式和性能不同）

交流电机的共同问题：

1. 三相交流绕组的结构
2. 三相交流绕组产生的电势
3. 三相交流绕组产生的磁势

 东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>





止於至善

第二篇 交流电机的共同问题之

第六章

交流电机绕组及其感应电动势





 東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

第六章

交流电机绕组及其感应电动势

- 旋转电机的基本作用原理
- 交流绕组
- 绕组的感应电动势
- 谐波电动势及其削弱方法



 東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

第一节 旋转电机的基本作用原理

- **旋转电机定义**：以**磁场**为耦合场的连续**旋转**的**机电装置**
- **结构**：定子、转子和气隙
- **分类**：
 - **交流电机**：产生或使用**交流**电能的旋转电机
 - 同步电机**——速度**等于**同步速
 - 异步电机**——速度**不等于**同步速
 - **直流电机**：产生或使用**直流**电能的旋转电机

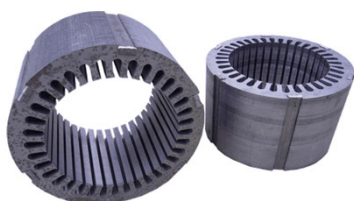
同步速——旋转磁场的转速



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

电机实物图



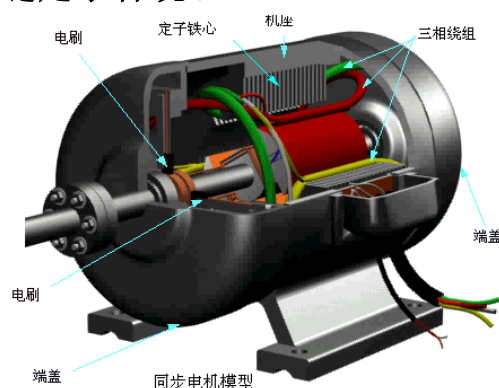
东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

同步电机模型图

•同步电机

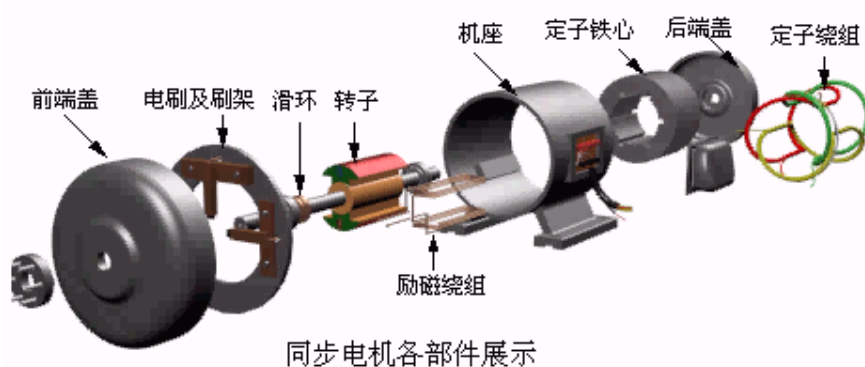
定子上为三相对称绕组，匝数相同，空间位置互差 120° ，转子上装有励磁绕组，通入直流电将产生一个磁场，它匝链定子各绕组。



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

同步电机爆炸图



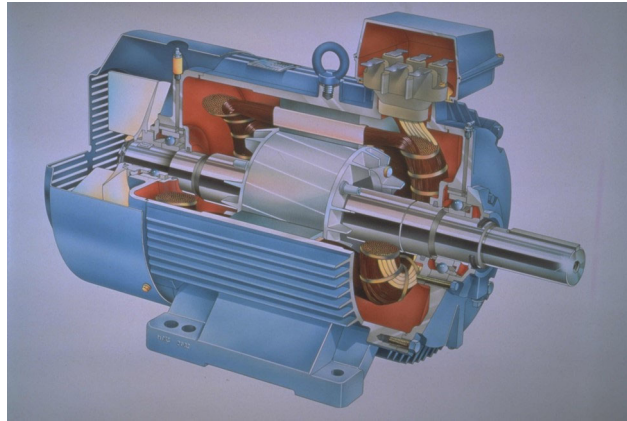
同步电机各部件展示



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

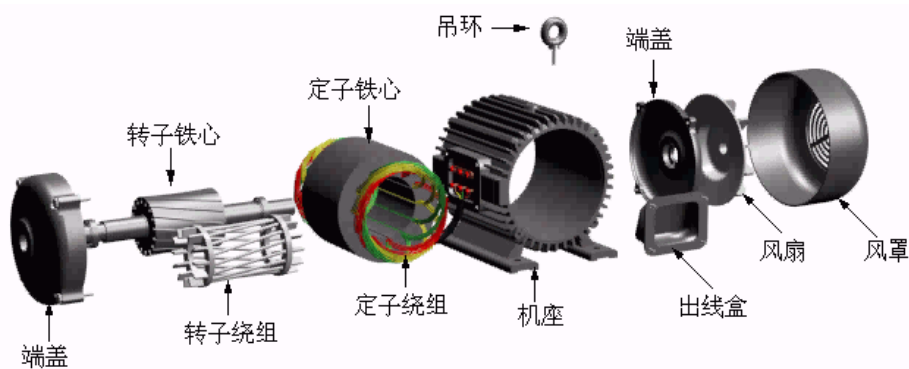
异步电机



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

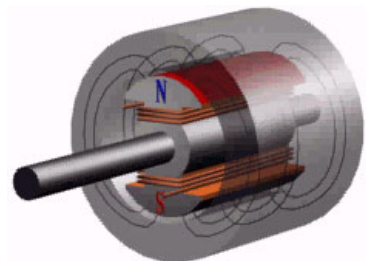
异步电机爆炸图



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

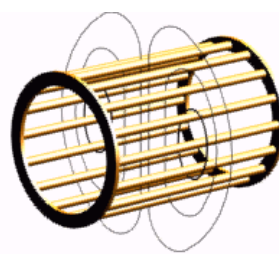
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

交流电机转子区别



同步机的转子

在同步电机中，转子是主磁极，当外加的直流励磁电流流入转子绕组时，转子铁芯便表现出固定的极性，随转子一起旋转，相当于一块旋转的磁铁



异步机的转子绕组

在异步电机中转子绕组是一个自行闭合的绕组，当气隙磁场切割转子绕组时，便会在转子绕组中感应电势产生电流，转子铁芯便表现为表面旋转变化的磁极



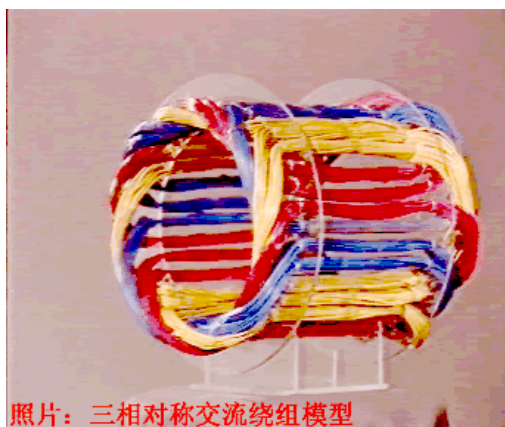
东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

交流电机绕组模型



照片：成型线圈



照片：三相对称交流绕组模型

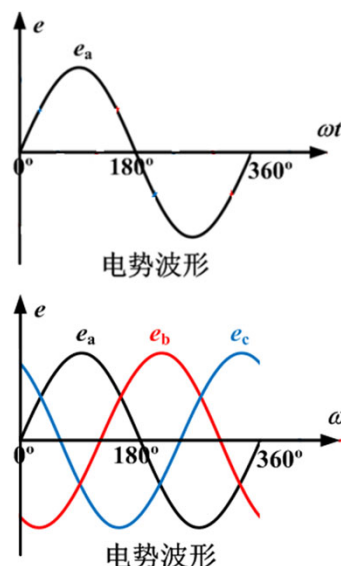


东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

单个线圈在磁场中的感应电势

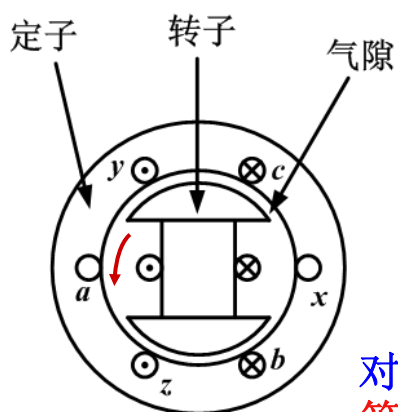
设磁场正弦分布，则单个线圈中的感应电势也正弦分布。



东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

三相同步电机（磁极对数 $p=1$ ）



- 转子绕组通以**直流电流**形成**分布磁场**，匝链定子上的各相绕组
- 定子上嵌放有**对称**的三相绕组 **a-x**、**b-y**、**c-z**

对称是指各相绕组的匝数相等，**空间位置**彼此相距**120°**

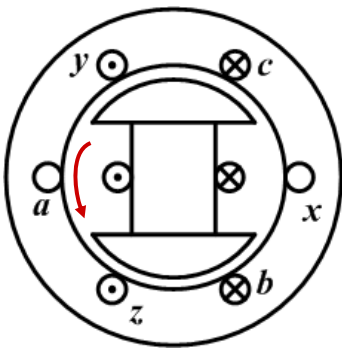


东南大学电气工程学院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>


磁极对数 $p=1$

设磁场在气隙中按正弦分布



- 设转子以恒定速度旋转
- 定子绕组中所匝链的磁通按正弦规律变化，其感应电势按正弦规律变化
- 由于各相匝数相等，从而各相电势的大小相等，由于各相绕组空间分布彼此相距 120° ，从而三相电势时间相位差 120° ：满足了三相电势对称要求

同步发电机工作原理

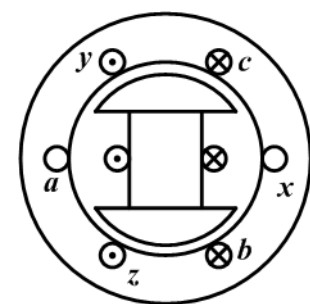


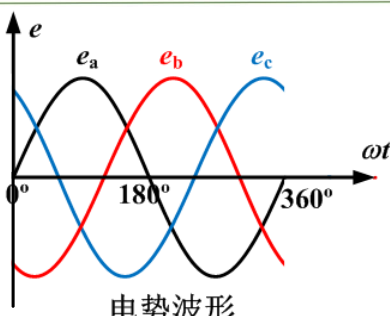
东南大学电气工程学院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>

磁极对数 $p=1$

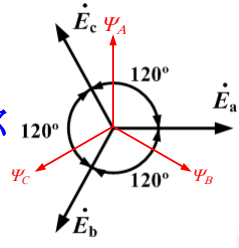





电势波形

同步发电机工作原理

三相电势对称



向量图



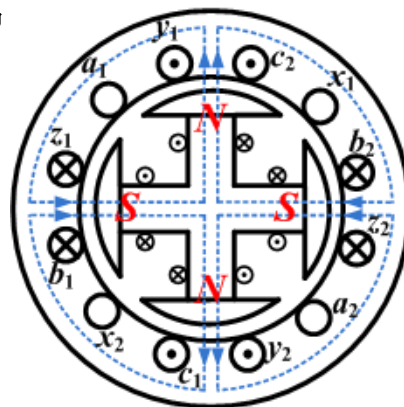
东南大学电气工程学院

SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

ee.seu.edu.cn

例：三相同步电机（磁极对数 $p=2$ ）

- 每相两个线圈， a_1-x_1 、 a_2-x_2 属于A相； b_1-y_1 、 b_2-y_2 属于B相， c_1-z_1 、 c_2-z_2 属于C相
- 各相的两个线圈的分布：
空间：相距一对磁极
电势：两个线圈交链的磁通变化规律完全相同，因而感应电势完全相同(幅值一致，时间上同相位)

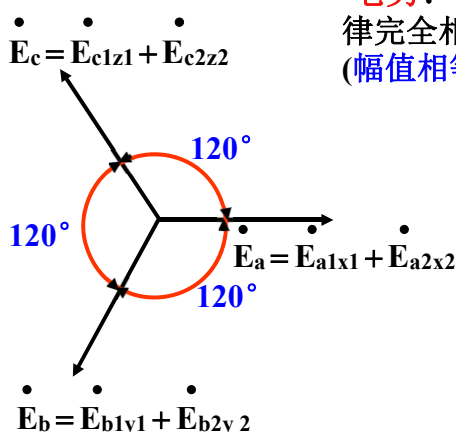


東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

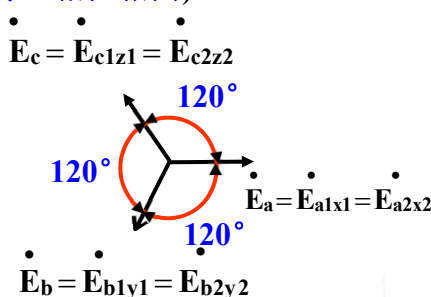
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

磁极对数 $p=2$

电势：两个线圈交链的磁通变化规律完全相同，因而感应电势完全相同(幅值相等，相位相同)



串联电势相量图



并联电势相量图



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

第二节 交流绕组

➤ **绕组**：按一定规律排列和连接的**线圈**。

（决定着电机的磁势和电势）

交流绕组构成原则：

- 合成磁动势和合成电动势的波形要接近**正弦波形**，**幅值要大**；
- 对三相绕组，各相的磁动势和电动势**对称**，电阻、电抗要平衡；
- 绕组的铜耗要小，用铜量要省；
- **绝缘要可靠，机械强度、散热条件要好，制造要方便。**



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

元件 (线圈)

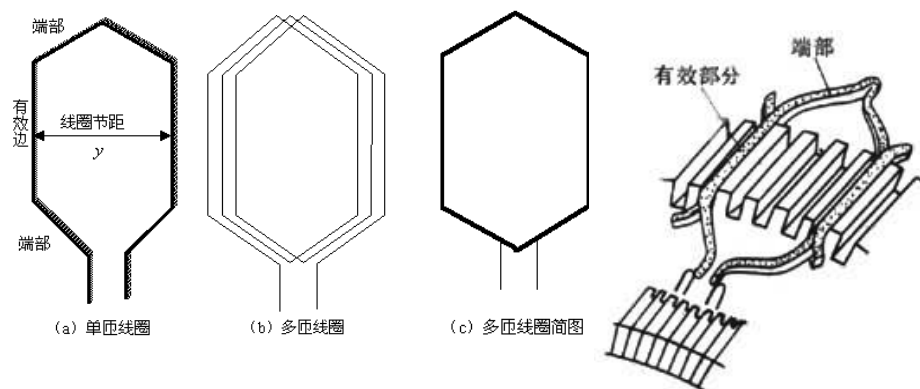


图 1 线圈在槽内的安排



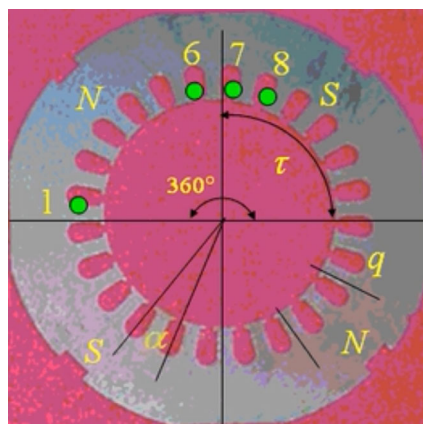
東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语1：电角度

➤ 铁芯的横截面是一个圆，
其几何角度为**360°机械**
角度

➤ 从电磁角度看，一对
NS极构成一个磁场周
期，因此，在电机中一
对磁极所对应的角度定
义为**360°电角度**



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

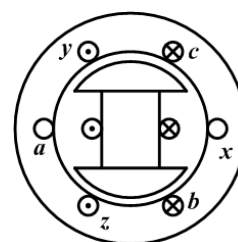
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语1：电角度

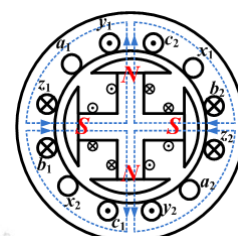
磁极对数为 p

圆周机械角度为**360°**

电角度为 $p \times 360^\circ$



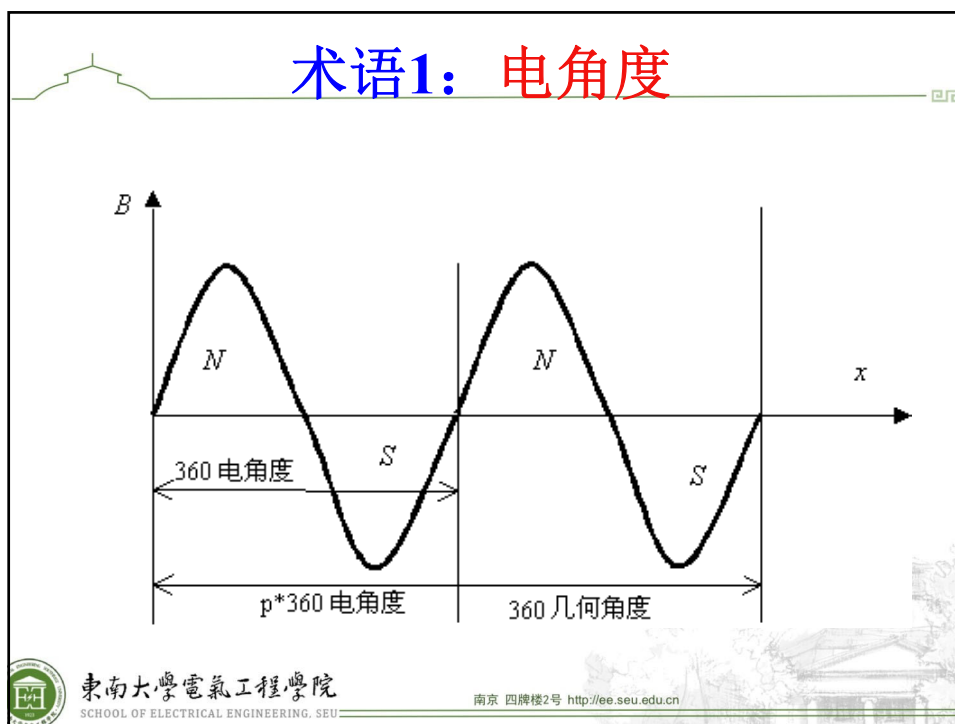
电角度 = 机械角度 × 极对数



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

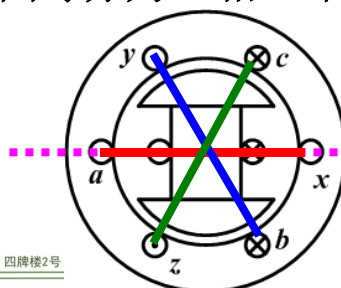
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语1：电角度



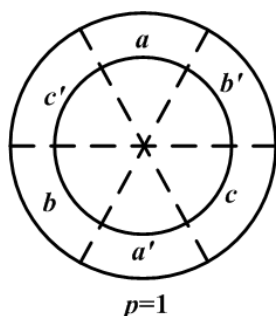
术语2：相带

- 每个极面下每相绕组占有的范围——**相带**
- 每个极对应于 **180° 电角度**，如电机有 **m** 相，则每个相带占有 **$180^\circ / m$ 电角度**
- 三相电机 **$m=3$** ，其相带为 **60°** ，按 **60° 相带**排列的绕组称为 **60° 相带绕组**
- 将每对极 **360° 电角度**范围等分为 **3 相**，即 **120° 相带**

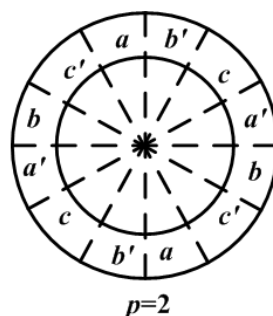


60°相带绕组

- 把每对极所对应的定子槽等分为六个等分。依次称为 a 、 c' 、 b 、 a' 、 c 、 b' 相带，各相绕组放在各自的相带范围内



$p=1$



$p=2$

60°相带



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语3：每极每相槽数 q

- 每个极面下每相占有的槽数
已知总槽数 Z 、极对数 p 和相数 m ，则

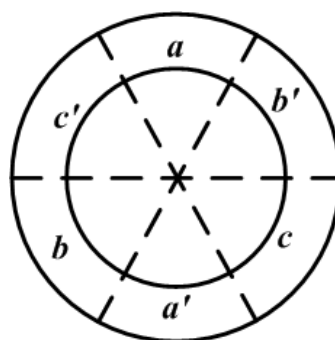
$$q = \frac{Z}{2pm}$$

$q = 1$ —— 集中绕组

$q \neq 1$ —— 分布绕组

- q 为整数 —— 整数槽绕组

- q 为分数 —— 分数槽绕组



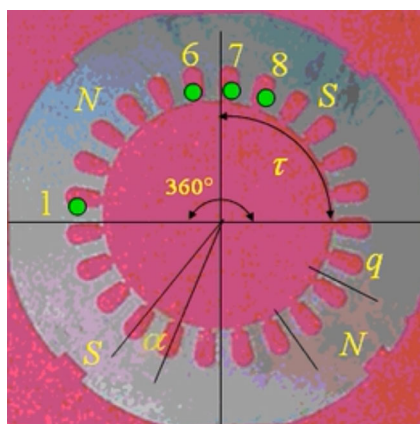
東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语4：槽距角 α

- 相邻两槽之间的电角度
- 已知总槽数 Z 、极对数 p

$$\alpha = p \times \frac{360^\circ}{Z}$$



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语5：极距 τ

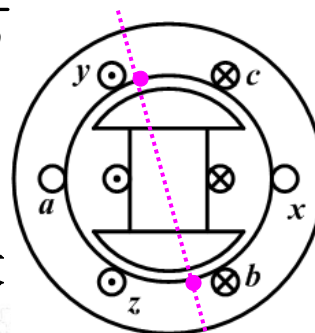
- 相邻两磁极对应位置两点之间的圆周距离几何尺寸——每极所对应的定子内圆弧长
设 D 为定子内圆直径

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}$$

- 槽数表示极距：

$$\tau = \frac{Z}{2p}$$

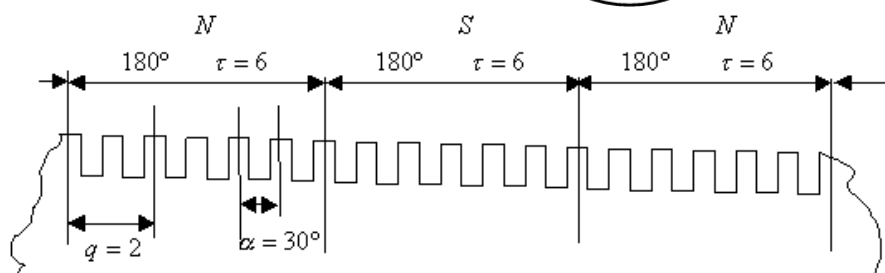
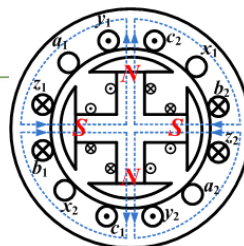
- 即基波磁场每极所对应的槽数



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语5：极距 τ



图：极距，每极每相槽数，槽距角的概念

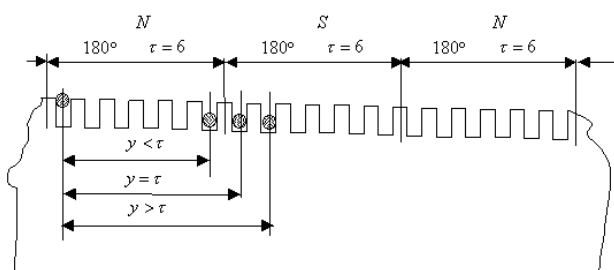


東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

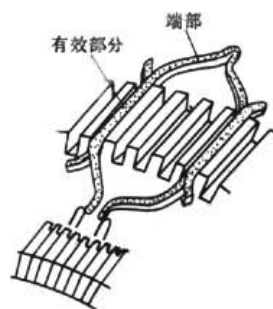
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

术语6：节距 y (跨距)

- 表示元件的**宽度**：元件放在槽内，其宽度可用元件两边所**跨越的槽数**表示



图：整距，短距，长距线圈的概念



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

交流绕组的构成原则

- ▶ **均匀原则**：每个极域内的槽数（线圈数）要相等，各相绕组在每个极域内所占的槽数应相等
 - 每极槽数用极距 τ 表示
 - 每极每相槽数 q
- ▶ **对称原则**：三相绕组的结构完全一样，但在电机的圆周空间互相错开 120° 电角度
 - 如槽距角为 α ，则相邻两相错开的槽数为 $120^\circ/\alpha$
- ▶ **电势相加原则**：线圈两个圈边的感应电势应该相加
 - 线圈与线圈之间的连接也应符合这一原则
 - 如线圈的一个边在 N 极下，另一个应在 S 极下

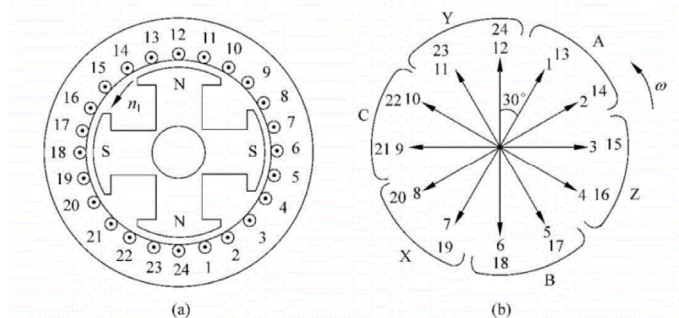


東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

分析工具：槽导体电动势星形图

- 把电枢各槽内导体电势用相量表示，构成一幅射线星形图



相距 360°
电角度的
导体电势
时间上同
相位

$$(Z=24, 2p=4, \alpha=30^\circ)$$



東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

三相单层绕组

- ▶ **单层**——每槽中只放置一层线圈边，线圈数等于槽数的一半，无需层间绝缘，结构和嵌线较简单
- ▶ **单层绕组**只适用于**10kW**以下的小型**异步电动机**，其极对数通常是 $p=1,2,3,4$
- ▶ **单层绕组**通常有**链式**、**交叉式**和**同心式**等三种不同排列方式



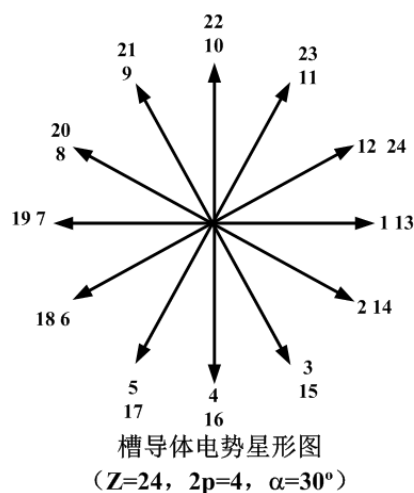
東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

单层绕组：构造方法和步骤

例：相数 $m=3$ ，极数 $2p=4$ ，
槽数 $Z=24$

- 每极每相槽数 $q = \frac{Z}{2pm} = 2$
- 槽距角 $\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = 30^\circ$
- 极距 $\tau = Z/2p = 24/4 = 6$

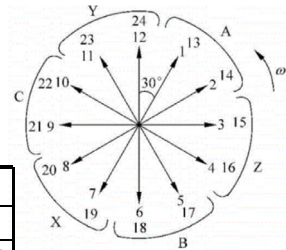


東南大學電氣工程學院
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING, SEU

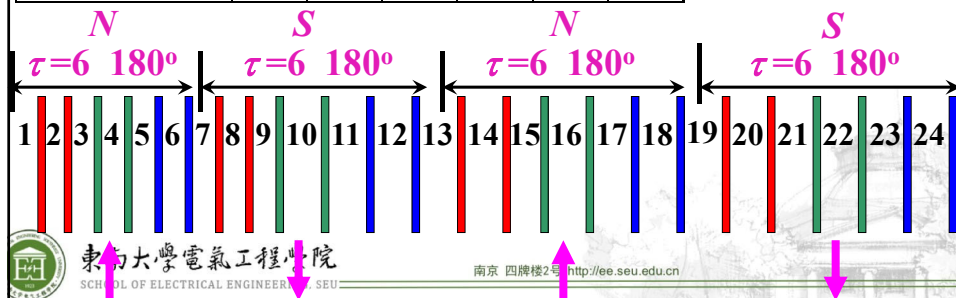
南京 四牌樓2號 <http://ee.seu.edu.cn>

单层绕组：构造方法和步骤

➤ **分极分相**: 将总槽数按给定的极数均匀分开 (**N, S** 极相邻分布), 并标记假设的感应电势方向。将**每个极的槽数按三相均匀分开**, 三相在**空间错开120°电角度**



极 对	相 带					
	<i>a</i>	<i>c'</i>	<i>b</i>	<i>a'</i>	<i>c</i>	<i>b'</i>
第一对极	1,2	3,4	5,6	7,8	9,10	11,12
第二对极	13,14	15,16	17,18	19,20	21,22	23,24



东南大学电气工程学院

南京 四牌楼2号 <http://ee.seu.edu.cn>